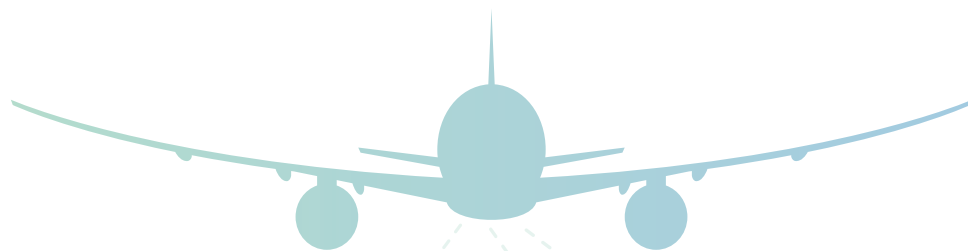


# 5G 地空通信白皮书

2020



飞联网联盟 (IOAA)  
2020年11月



# 《5G 地空通信白皮书2020》

## 编写单位

### 组织单位

飞联网联盟 (IOAA)

### 牵头单位

中国移动通信集团有限公司

### 支持单位

中国商用飞机有限责任公司

成都航空有限公司

中国民航大学

中兴通讯股份有限公司

航迅信息技术有限公司

### 特邀单位

中国信息通信研究院

# CONTENTS

## 目录

<b>第一章 5G地空通信定义与优势</b>	<b>01</b>
1.1 5G地空通信定义	01
1.2 5G地空通信优势	02
<b>第二章 5G地空通信系统</b>	<b>02</b>
2.1 演进趋势	02
2.2 总体架构	04
2.3 技术特点	07
<b>第三章 5G地空通信赋能智慧航空</b>	<b>08</b>
3.1 应用领域	08
3.2 服务对象	09
3.3 标准体系	14
<b>第四章 愿景</b>	<b>15</b>

# 第一章 5G地空通信定义与优势

民航飞机作为重要的交通工具，是衡量一个国家空中运输能力的重要标志。随着交通信息化、数字化进程推进，飞机接入互联网需求日益旺盛。民航产业各相关方分别在基于卫星链路与地空通信基站地空链路两种技术路径分别开展了研究。相较于卫星通信，基于地面专用基站的地空通信场景以其优势的通信容量保障、灵活的多制式通信共存和较低的通信成本日渐受到市场青睐。

## 1.1 5G地空通信定义

5G通信作为新一代的通信基础设施，位列我国“新基建”之首，将会为整个社会带来新一轮的信息技术革命和数字化产业变革。5G地空通信是以地面5G地空通信基站作为通信中继，实现飞机空中互联网接入的技术。它根据航空场景超高覆盖（飞机巡航高度12000米）、超高移动性（800-1200km/h）的特点，对现有地面5G通信标准进行了定制化的开发，实现了飞机和地面的大带宽双向通信。

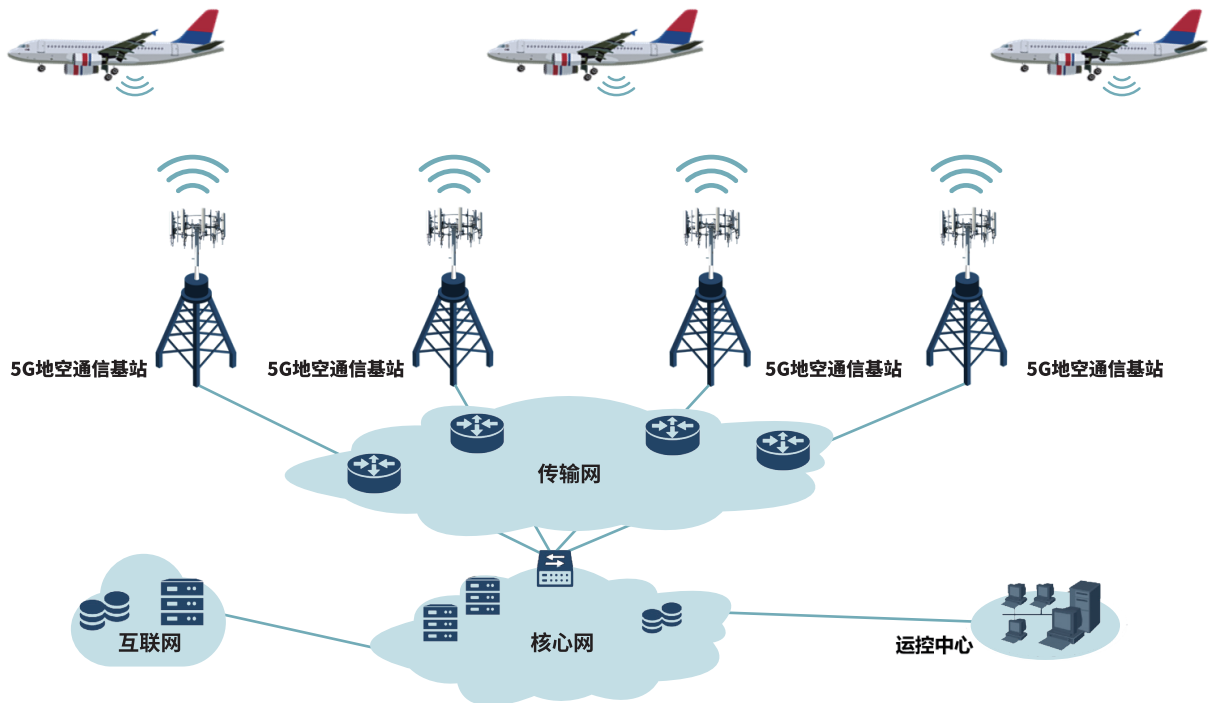


图1-1 5G 地空通信示意图

## 1.2 5G地空通信优势

相比卫星通信，地空通信更适合占比高的陆地航线，且竞争优势明显。5G地空通信独有的大带宽、低成本、低时延等特点，在航空领域的应用将会给空中互联网体验带来一次质的飞跃。

	5G地空通信	Ku低通量卫星	Ku/Ka高通量卫星	低轨星座卫星
单点容量	15Gbps	1Gbps	20Gbps	20Gbps
单点成本	约100万元	约20亿元	约20亿元	约6600万元
覆盖范围	陆地、近海	全球	全球	全球
全国覆盖	500站	1颗星	1颗星	10颗星
系统容量	7500Gbps	1Gbps	20Gbps	200Gbps
建设成本	约5亿元	约20亿元	约20亿元	约6.6亿元
网络时延	10ms	270ms	270ms	20ms
网络寿命	>15年	约15年	约15年	3-5年
安装维护	周期短、简单	周期长、复杂	周期长、复杂	周期长、复杂
技术迭代	迭代速度快	不可迭代	不可迭代	不可迭代
机载设备	轻便、较小	较重、较大	较重、较大	较重、较大
流量资费	低	高	高	高

图1-2 5G 地空通信与卫星方案对比

# 第二章 5G地空通信系统

## 2.1 演进趋势

随着商业航空的高速发展，机上前后舱互联需求日益旺盛，据空客《Aircraft Connectivity and Digital Services》报告分析，A330等机型将有超过24000组前舱互联数据传输，接入带宽将达40Mbps；后舱乘客互联网接入需求将超过300Mbps。以2019年全国民航3818架民航客机，同时在空飞机将超过1500架飞机规模测算，国内民航并发接入速率将达500Gbps，卫星在低通量到高通量长期技术演进过程中，很难有效满足民航机载互联需求，大带宽的地空通信系统将成为陆上航线有效补充。



## 2.2 总体架构

5G地空通信系统依赖地面基站实现对空中在航飞行器的通信服务。具体来讲，地面站通过对空覆盖形成满足需求的空中小区，同时，在航飞行器通过机载终端与地面站进行连接，实现数据传输。

5G地空通信解决方案整体架构如下图所示，整个系统可分为机载端、地面网、云平台三个部分。

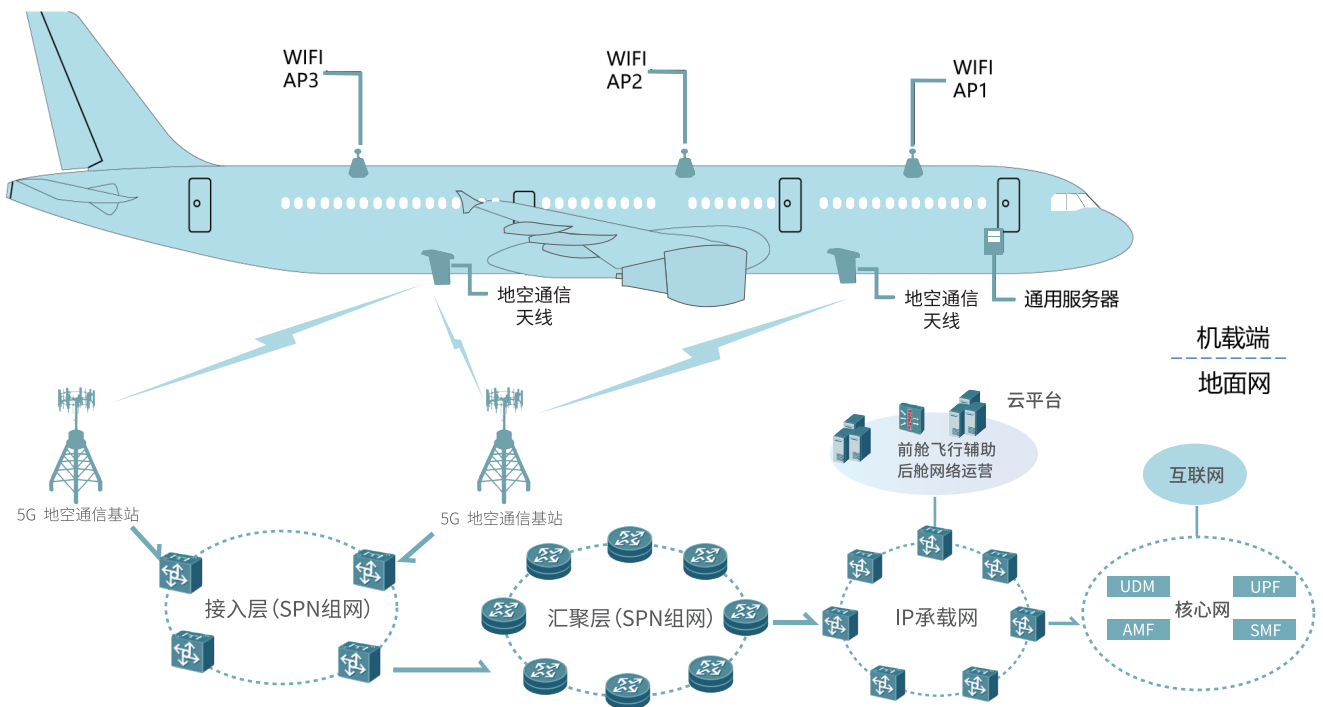


图2-4 5G 地空通信总体架构图

### 机载端

5G地空通信机载端主要包括有源阵列天线、CPE、通用服务器及WIFI AP等设备，机载有源阵列天线用于空地通信，实现飞行全程CPE与地面基站之间的高速数据传输；机载CPE接入地面5G地空通信基站，为机载WIFI AP进行无线回传，使得机舱内WIFI用户可以进行宽带互联网访问，还可以支持机舱内数据传输到地面，供相关行业应用；机载通用服务器及WIFI符合ARINC 763功能规范及标准、ARINC 600结构规范及标准、航空电子系统环境要求（DO-160G），具备较高的安全性、稳定性和可靠性。

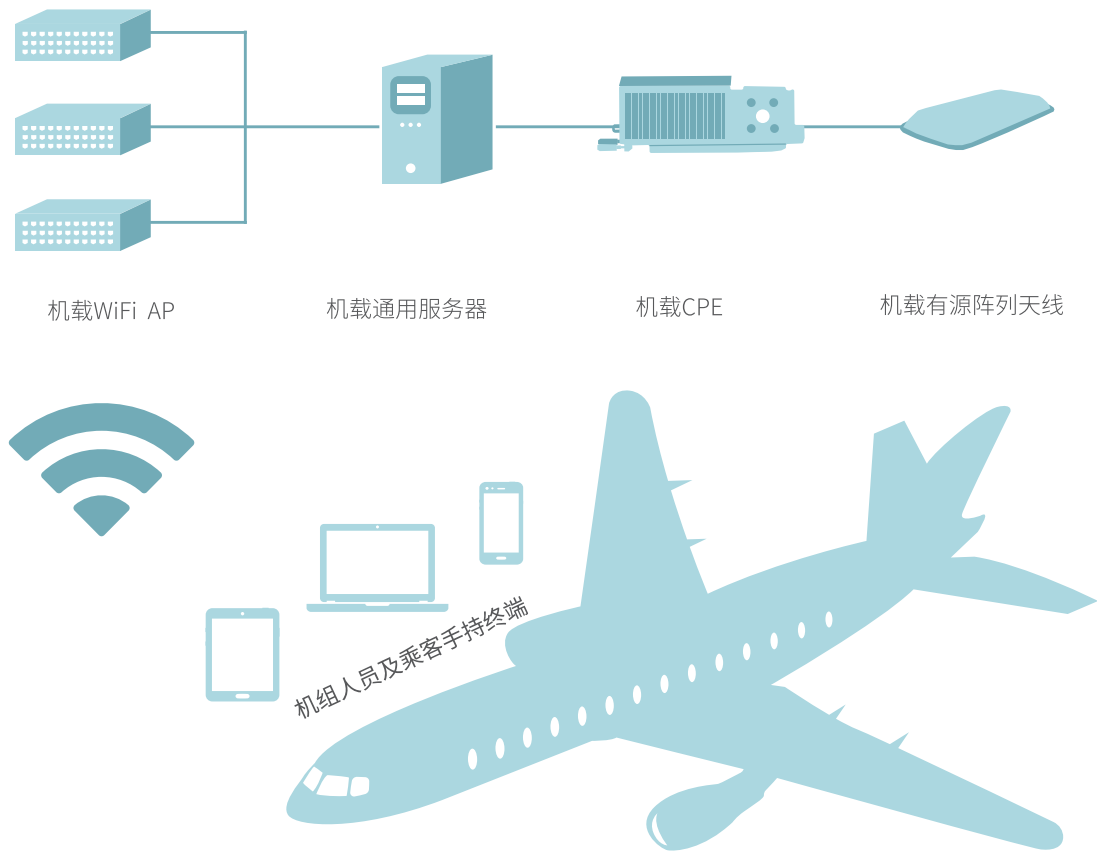


图2-5 5G地空通信机载通信系统

## 地面网

地空通信地面系统包含地面基站天线、地面基站射频单元、地面基站基带单元以及核心网部分。其中5G地空通信地面基站设备包括BBU和AAU，设备形态与地面大网5G宏站设备类似，但需要针对航空飞机的应用场景做协议和产品的定制化开发，如阵子排列的调整，长周期帧结构、频偏补偿算法等。

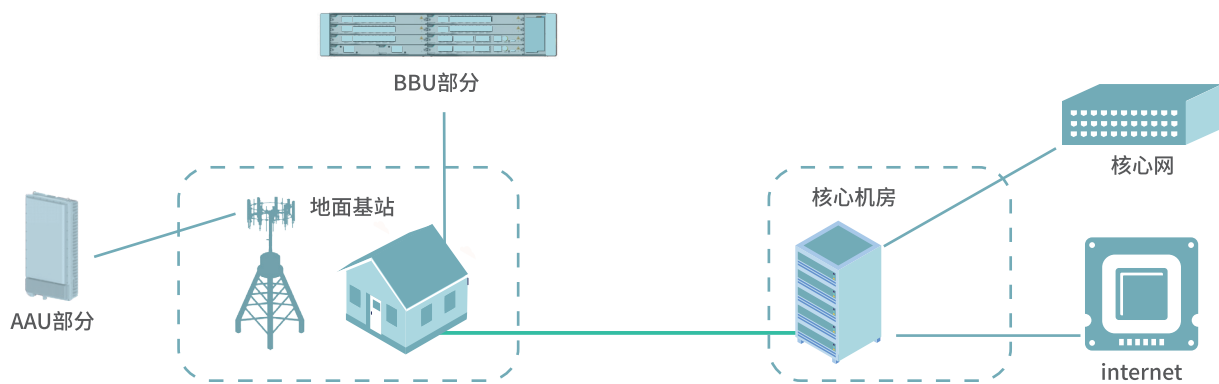


图2-6 5G地空通信地面系统



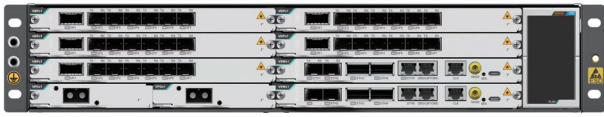


图2-7 5G地空通信地面基站BBU部分



图2-8 5G地空通信地面基站AAU部分

## 平台侧

5G地空通信业务平台上接业务客户，下接中国移动核心网络，横向对接BOSS系统。该平台可实现对5G地空通信机载通信网络的管理，提供5G地空通信机载通信网络产品运营能力，实现业务受理定制、设备状态监控、客户鉴权服务等功能。



图2-7 5G地空通信业务平台功能架构

## 2.3 技术特点

### 机载端

**机载有源阵列天线:**具备重量轻、体积小、功耗低、大角度高精度扫描、波束辐射性能高等特点,工作方式为上下行多流,采用先进的软件算法及模块化结构,具备电子射频精准波束控制、功率控制、电子极化选择及角度控制等功能,结合5G大规模MIMO技术,具有较高的抗干扰能力及高带宽传输特性,满足地面NR网络同频高干扰组网要求。

**机载CPE:**支持基于飞机姿态、航向、俯仰的上下行赋形方案,并提供测试报告、天线赋形范围及方向图指标,赋形方案支持基于SRS、PMI、DOA的自适应选择,并满足上下行多流通信,外形尺寸仅4MCU,重量<10kg。

**机载通用服务器:**采用高性能处理器,4T存储容量,具备网络和路由功能,并提供机上网络及存储服务,支持千兆以太网连接。机载通用服务器可配备多台,分别服务于前舱应用和后舱应用。

**机载WiFi AP:**支持IEEE 802.11ac无线通信协议,单设备支持超百路视频流并发。

### 地面网

#### 地面站主要性能指标:

AAU收发通道数:64TR      AAU机顶功率:200W      单架飞机峰值速率:不低于500Mbps

#### 5G地空通信解决方案中主要采用如下关键技术:

超高速多普勒频偏自适应跟踪及补偿算法,能够在1200km/h时速下保证地空通信的性能;  
定制化的随机接入系统设计,解决1200km/h的超高速巡航下最大300km的超大小区随机接入的难题;  
通过机载CPE远程管理服务器进行机载台的远程操作维护管理,实现机载台的状态及位置跟踪,软件更新,故障及性能上报,远程Debug等功能。

因为具有大半径覆盖的优势,站址部署灵活,组网所需站点规模小,网络容量可按需调整,网络弹性好,管理维护便利。

### 云平台

5G地空通信业务平台可同时满足对5G地空通信网络和机载WLAN网络的管理,主要包括对航空用户认证体系的操作管理,对地空通信网络的监测管理,还具备网络设备接口管理和应用服务接口管理功能。

平台支持十万级用户注册,高并发用户同时在线访问,用户1年话单保存查询;设备平均正常工作时间超40万小时,设备故障恢复时间小于30分钟;系统存储空间满足支持会员20万户以上,单用户拥有独立的网络存储空间;对界面单一操作的系统响应时间小于0.5秒,数据查询一般不超过1秒;不间断性保证系统提供7×24小时的连续运行,平均年故障时间<5小时,系统平均故障修复时间<2小时。



## 安全体系

基于行业应用的5G技术在民用航领域具有广泛的应用场景，基于5G的地空通信技术为空中互联网提供众多的解决方案。考虑到民航应用领域的安全性需求，应该围绕民航运行安全，构建面向未来数字民航、智慧民航发展的5G安全体系。

此外地空通信系统的网络信息安全、应急预案、数据安全等应满足工信部对网络信息安全的相关要求。

# 第三章 5G地空通信赋能智慧航空

## 3.1 应用领域

5G地空通信与人工智能、大数据、云计算等先进技术融合，将会在航空领域创造全新的应用场景。

**前舱安全数据传输：**针对飞机前舱海量的飞机运行数据，5G地空通信的大带宽、高安全性的传输可以实现民航客机运行状态数据与空管、航司、飞机制造商的实时互通，服务政府空管部门与行业客户。

**后舱互联网接入：**针对航空旅客日益强烈的空中互联网接入需求，5G地空通信可以带来高速率、低时延的空中上网体验，同时还可配合航司、互联网服务提供商（ISP）拓展增值服务，丰富客舱娱乐内容。



图3-1 地空通信应用概览



## 3.2 服务对象

### 航空公司

#### 1) 旅客服务应用

**旅客互联网接入:** 通过5G地空通信连接全程向乘客提供信息服务,手机、平板电脑、笔记本电脑均可通过机载WiFi接入互联网,满足乘客对“美好旅程”的期望,有效增强高端客户粘性和市场竞争力。

**医疗救援服务:** 机上乘客如果在航程中身体不适,可通过远程实时视频与地面航空医疗中心医生、专家远程医疗问诊,或者联系地面航空应急部门在飞机着陆后及时安排相关救护工作,显著提升航空公司品牌形象和影响力。

#### 2) 航班运营应用

**电子飞行包EFB (Electronic Flight Bag):** 充分利用5G速度和带宽,丰富EFB资料提供,实现大容量信息上传(如气象云图、风场资料等),为飞行机组提供全面的信息支持,提高飞行机组决策能力,确保运行安全。

**航行通告NOTAM (Notice To Airmen) 服务:** 飞行员通过EFB实时接收和显示来自地面空管部门的航行通告NOTAM,也包括雪情通告、鸟情通告、火山灰通告等。

**气象情报服务:** 飞行员通过EFB实时接收和显示来地面航空气象服务系统发送的报文资料和图形资料,包括机场实况、机场预报、天气图、WAFS、雷达图、卫星云图等。

**航空器气象数据中转AMDAR (Aircraft Meteorological Data Relay) 服务:** 把飞机的气象传感器获得高空大气温度、湿度、压力和风力、风向等数据,通过5G地空通信实时发送到地面,辅助ATC高效管制,为民航和国家气象预报单位提供更准确及时的气象数据。

#### 3) 飞行安全应用

**地面与机组保持通讯:** 实现公司运行风险控制中心与飞行机组流畅视频通话功能,使飞行员能够与公司运行风险控制中心进行实时视频交流,提高信息传递的及时性和准确性,同时也提高公司运行风险控制中心对飞机机组的决策支持力度,确保运行安全。

**快速存取记录器QAR (Quick Access Recorder)、驾驶舱语音记录器CVR (Cockpit Voice Recorder)、飞行数据记录器FDR (Flight Data Recorder) 数据实时下载:** 航空公司机务维修部门、安全管理部门以及民航局安全管理部门实时获得这些记录器的数据,用于飞行技术检查、安全评估、安全事件调查和飞机维护等,确保飞行安全。

**舱内外视频数据实时下传:** 通过安装专用摄像头,实现飞机起降及飞行过程中客舱、货舱、驾驶舱、甚至舱外等关键部位的全流程视频实时传输,由地面人员协助机组人员监控飞机状态,增加安全裕度。

**飞机位置和姿态实时跟踪:** 把机载北斗(和GPS)定位设备和姿态传感器数据(经纬度、高度、航向、速度、姿态)等信息实时发送到地面,便于航空公司监视飞机飞行状态。



**飞机健康监控数据实时下传:** 在飞机运行过程中,把飞行品质数据、飞机关键系统技术状态数据等各种类型传感器和设备的状态数据实时下传到地面的飞机健康数据库,帮助公司及时发现处置飞机故障、提升事件调查及时准确性,并为航后维护提供可靠依据。

#### 4)航空大数据应用

**乘客数据分析:** 可对乘客进行精准个性化的服务和情绪管理,实现旅客复购,提升重复乘机率。

**航空装备及产品闭环优化设计:** 基于大数据平台,可有效将运行控制部门、维修控制部门、机务工程部门、质量管理部门、信息技术部门及主机厂结合起来,实现数据的互融互通,贯穿从设计生产、交付使用到维护管理全过程。

**飞机全寿命周期的健康管理和预测:** 涉及到机载系统设计,整机集成、航线飞行、运营及维护。可以在飞行及离场阶段通过无线的方式将数以万计的传感器采集到的数据发送到相关需求部门。

**人机混合决策:** 可以有效监控和减少人为操作的失误,辅助驾驶员更好的完成飞行任务,提升航空器的安全性。

**智能飞行管理:** 借助于空地宽带网络,每一架航班将会预先制定飞行轨迹计划,存储在飞机计算机内,并同步发送到空管系统,航班即可通过宽带数据网络实时与空管进行数据交换。



图4-1客舱医疗救援

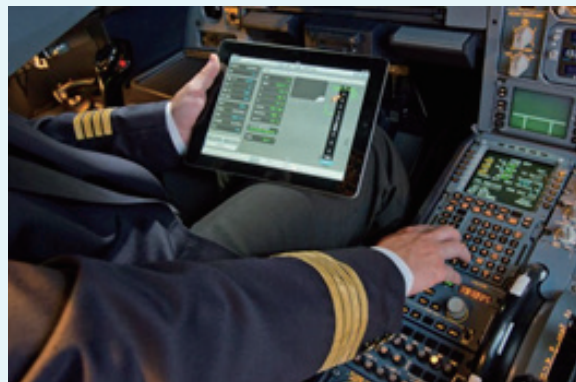


图4-2前舱电子飞行包



图4-3气象云图更新



图4-4飞行实时跟踪

## 空管部门

智慧空管包含智慧安全、智慧运行、智慧服务、智慧设施、智慧信息、智慧协同、智慧管理等重点内容，其核心是5G技术结合人工智能、大数据、云计算技术等创新引领空管发展，增强空管保障能力。

### 1)智能化空管系统

5G技术将全面改革空管现有的管制自动化系统，提供更加智能、更加智慧的空管自动化系统。新的空管自动化系统基于5G技术而实现三维飞行动态监控、更加丰富的运行管理信息集成，从而实现更加精准的航空器运行控制。

### 2)数字化管制

5G技术给空管系统带来全新的管制方式，将使得空管人员从传统的管制指令中解脱出来，赋予管制人员全面和丰富的地空数据链系统，将管制指令转化成数字化指令，从而实现CPDLC数据化指令运行，实现管制方式的变革。

### 3)数字化空域管理

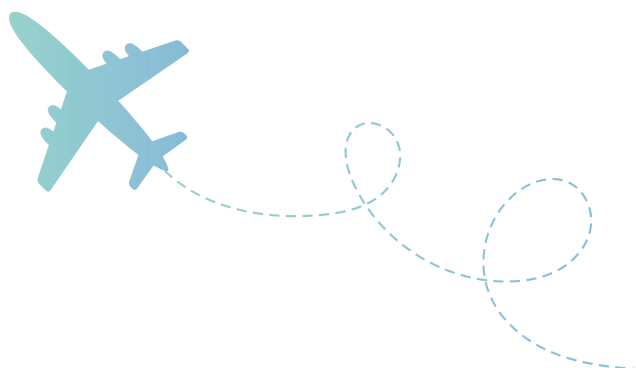
近年来,随着人工智能技术、5G技术、数字化信息技术等新技术的发展，基于未来空中交通管理需求的国家未来空域系统中动态空域规划技术和空域管理技术将会为我国空域系统发展提供坚实基础。基于5G技术所建立的全新的空中交通管理模式，也有助于实现空域精细化管理和资源的优质配置。5G技术将赋能空域管理方式数字化变革，实现更加智慧的空域动态调整和规划，实现空域优化运行和管理。



图4-5 智能化空管系统



图4-6 数字化管制服务





## 飞机制造商

民用大型航空器的设计、生产和运营是一个复杂程度极高的大型综合系统工程。大型民用客机的设计并不是一蹴而就的，而是一个持续迭代和不断改进的过程。世界主流飞机主制造商生产的优秀机型，例如波音737、787，空客320、350等均经历了漫长的优化、改进过程。这个过程不仅依赖于设计人员的技术和经验，更重要的是需要依托飞机在试验和运营阶段产生的海量数据，而长期以来，数据的回传需要在飞机落地后进行。5G地空通信技术的出现，将极大地缩短数据回传时间，提升飞机设计、试验和优化的效率，缩短飞机研制的周期，进一步解放飞机主制造商的生产力。

**按照数据产生的不同阶段，5G地空通信技术对于飞机主制造商的应用场景可分为如下2个部分：**

### 1)飞机试验阶段，基于5G地空通信的试飞数据回传

新型号的民用客机在投入运营前需要进行大量的飞行试验，包括研发试飞、适航符合性表明、生产交付试飞等。传统的遥测系统需要配备地面遥测车辆，其通信半径通常为100公里，而飞机试飞所需的空域面积常常远超这个范围，这限制了飞机飞行试验的灵活性。此外，遥测系统在飞机上需要安装遥测设备，通常遥测设备的功率较大，需要从主配电箱取电，因而飞机试飞过程中对飞机的改动较大。

5G地空通信技术可完美解决上述问题。首先，5G地空通信技术通过改进地面移动通信网络的基站即可实现任意形状、任意规模的空中网络信号覆盖，极大地提升了试飞的灵活性；其次，5G地空通信机载CPE终端的尺寸、重量、功耗均远小于遥测系统，标准CPE终端通常为4MCU大小，可放置在电子舱，试飞结束后拆除即可，恢复飞机构型极为方便。

### 2)飞机运营阶段，基于5G地空通信的关键机载系统监测数据回传

在飞机运营阶段，飞机主制造商一方面需要对飞机关键核心系统进行监控，不仅确保飞机处于安全运营状态，同时通过对数据的分析和挖掘，针对飞机进行优化和改进方案的制定。另一方面，飞机主制造商通过对飞机运营数据的挖掘，分析出潜在需要维护和更换的航材备件信息，并将该信息与航空公司共享，全面提升航空公司更换航材的效率，避免因航材缺件导致停飞等不必要的经济损失。



图4-7试飞数据回传



图4-8监测数据回传

## 航空旅客

随着2018年中国民航局发布《机上便携式电子设备（PED）使用评估指南》，开放机上便携式电子设备使用的条件已基本成熟。而5G在飞机上的应用将大大提升航空旅客的客舱互联网接入体验。旅客在万米高空可连接高速客舱网络浏览新闻，观看和收听高质量音视频，畅玩在线游戏，远程视频办公，随时随地使用微信、QQ等社交媒体软件，还可以通过个人携带的手机、平板电脑、笔记本电脑实时了解旅程情况，如飞行轨迹、飞行信息、目的地信息等。

有了5G提供传输保障，航空旅客还能够享受到航司或ISP引入的更多客舱互联网应用，例如景点推介、空中电商、在线酒店、租车预订等，使得旅程中的各项需求都能够及时得到精准地满足，不仅可以告别长时间飞行的无聊，还可以在飞机上提前规划安排好到达目的地后的一切行程。

### 商务

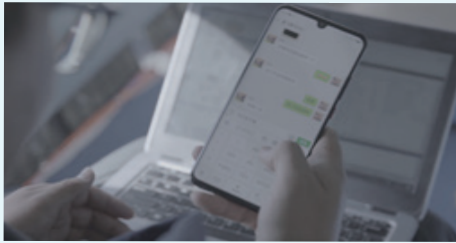


图4-9即时通讯



图4-10远程会议

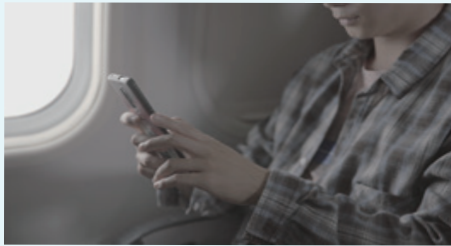


图4-11差旅用车预约



图4-12差旅酒店预订

### 娱乐

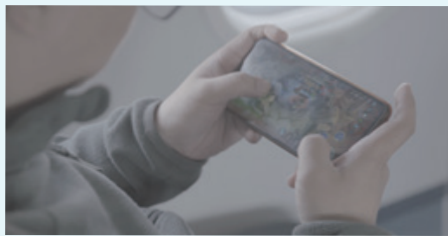


图4-13互动游戏



图4-14高清视频



图4-15实时VR



图4-16多路并发



### 3.3 标准体系

5G地空通信走向民航商业运营除了需要解决相关技术问题，还需要满足适航要求。按照民用航空的适航流程，首先需要制定审定基础，随后利用符合性方法表明5G地空通信的适航符合性，通过适航认证后还需要持续适航。在适航审定的整个项目周期中，通常需要依托大量的标准规范，包括国际标准、国家标准、行业标准、团体标准和企业标准。然而，我国5G地空通信的标准体系尚处于空白阶段。而围绕5G技术应用的日益发展，构建面向工业应用和行业应用的5G技术标准体系，服务相关产业，对于推动5G技术发展具有重要作用。

#### 结合5G在民航空管应用，可在如下领域构建民航5G技术标准：

##### 1)民航空管自动化系统5G行业应用数据规范标准

该标准将提供智慧空管所需的空管自动化系统5G技术标准，为空管提供标准化和规范化的5G行业应用数据规范标准。

##### 2)民航空管自动化系统5G技术行业应用数据通信规范标准

该标准将提供智慧空管5G技术行业应用数据通信的数据规范、接口规范、通信性能及要求、安全要求等方面规范标准。

##### 3)民航空管空域应用5G技术数据规范标准

该标准将提供民航空管空域运行应用5G技术数据规范、接口规范、应用规范、安全要求等方面规范标准。

##### 4)民航空管地空通信数据链5G技术应用标准规范

该标准将提供民航空管地空通信数据链5G技术应用相关数据规范、接口标准、通信性能及要求、安全要求等方面规范标准。

#### 从飞机主制造商的角度，5G地空通信需要建立的标准体系集中在如下几个方面：

##### 1)机载设备性能标准

该系列标准规定5G地空通信机载设备（包括CPE终端和机载天线）的性能，包括通信速率、工作频段、发射功率等关键通信性能参数。同时，规定5G地空通信机载设备的环境适应性性能要求，包括工作温度、湿度、盐度、震动、电磁敏感度等，确保5G地空通信机载设备能够在飞机上正常工作，并不对其他机载设备产生影响。

##### 2)机载设备接口标准

该系列标准定义5G地空通信系统与飞机其他系统的交联接口，例如：与机载信息系统、客舱系统的接口，与EWIS线缆的接口等。此外，该系列标准包含机载5G地空通信系统的重量、尺寸、功耗的定义。

##### 3)5G 地空通信加改装标准

该系列标准定义5G地空通信设备在民航客机上的加改装规范，包括各个部件的安装流程、所需的工艺装备，以及加装、改装后的相关测试流程和所需达到的性能标准。

##### 4)5G 地空通信应用标准

该系列标准定义民航客机基于5G地空通信系统的应用规范。以面向飞机主制造商的应用为例，应用类标准规范应对民航客机利用5G地空通信链路回传数据的参数种类、数量、名称、格式做出定义，规定空地通信业务框架和消息应答流程。针对各利益相关方的工作界面与职责权限做出划分。

## 第四章 愿景

根据民航局统计公布数据，2019年国内民航客机保有量达3818架，民航旅客规模达6.6亿人次，高速增长态势强劲。但是目前国内能提供空中上网服务的民航客机架数有限，联网率不足4%。而且国内航线起飞架次、航班时长、窄体机机队规模，占中国民航总规模超过80%以上，地空通信国内航线覆盖与成本优势，更适合中国民航需求。

以5G为代表的新一代网络的部署和商用，将为地空通信的发展注入新的动力，给机上互联网带来更清晰流畅的音视频数据、更广泛细致的交互数据、更海量多样的传感数据。

开展5G地空通信业务需要大带宽频谱确保网络带宽速率，同时由于地空通信业务特点，需独立频段避免干扰地面大网业务。积极探究使用运营基于自有IMT频率开展5G地空通信业务，有利于实现频谱资源充分利用，达到更高的效益目标。

5G地空通信的实施路径将从开展小规模试验开始，通过试飞验证地空通信性能及同频组网可行性；然后选取商用航线部署端到端系统，支撑互联网接入创新应用示范；最后结合示范成果争取国家政策支持，落实全国及亚欧航路组网和商用推广。同时推动5G与卫星通信的融合，向未来6G天地一体化信息网络演进。

因此5G地空通信发展潜力巨大，将开启“空中智能网联”新时代，成为移动通信和航空经济新的增长点。